

毫米波共形相控阵天线研究与分析

毕佳明

(沈阳工学院信息与控制学院, 辽宁沈阳, 113122)

Email: bjm625.5@163.com

摘要: 共形微带天线具有不额外占用空间和对飞行姿态影响小等优点, 其在航空、制导等领域具有很大的吸引力, 所以对共形相控阵微带天线的研究具有重要的工程价值和国防意义。尤其在毫米波段这样高的频率下设计共形相控阵天线是具有挑战性的课题。

本论文主要包括共形相控阵天线理论分析、共形阵列微带贴片单元的设计、毫米波共形相控阵阵列的设计与分析等三部分内容。以相控阵技术的发展应用为背景, 介绍了毫米波共形相控阵的特点以及国内外的研究现状及发展趋势。

本文根据微带天线设计理论, 分析了平面和柱面两种微带贴片单元, 其中柱面微带贴片单元增益高、厚度小、谐振频率高、方向图均匀, 且较易加工制作在弹体上, 适合在相控阵天线中做共形辐射单元。在此基础上, 使用 CST 电磁仿真软件分析了 1×3 共形相控阵阵列的扫描特性, 阵列的增益以及波束宽度等参数符合设计指标的要求。最后, 讨论了周向 3 个单元之间的互耦问题。

关键词: 毫米波; 相控阵天线; 共形相控阵; 微带天线

The Research of Millimeter Microstrip Conformal Phased Array

Bi Jiaming

(School of Information and Control Engineering, Shenyang Institute of Technology, Shenyang 113122, China)

Abstract: Conformal microstrip antenna occupies no extra space, and has the great attraction in the area of aviation and guidance, so the study of conformal phased array microstrip antenna has the nature of important engineering value and defence purpose.

This paper consists of 2 sections: design of conformal array microstrip patch, design and analysis of millimetre microstrip conformal phased array. Based on

the technology of phased array antenna application and development, this paper described the characteristic of millimetre microstrip conformal phased array, the art-of-state and developing trends in the country and other countries.

We conclude that cylindrical microstrip patch cell has the performance of high gain, low thickness, high resonant frequency, uniform directivity diagram, and easily fabricated on missile body, so it is a good choice of conformal phased array radiation cell in this paper. Then, based on the CST modeling analysis, we analyze the scanning characteristic of 1*3 conformal phased array. The array gain and beam width is agree to the requirement of the design index,. In the end, we discuss the cross coupling of three axial cell.

Keywords: Millimeter wave; Phased array; Conformal phased array; microstrip antenna

1. 引言

本文以毫米波引信制导系统为背景, 熟悉并掌握无源相控阵天线的基本理论, 研究并设计了合理的相控阵辐射单元、相控阵子阵以及圆柱共形相控阵阵面。仿真分析了 1*3 子阵共形相控阵天线的扫描特性, 包括增益、波束宽度等设计参数的特性。因此我们改变传统的软件分析方法, 使用电磁仿真软件对大型圆柱共形相控阵微带天线进行仿真计算。其主要技术指标要求如下:

- (1) 工作频段: 34-36GHz
- (2) 增益: 大于 10dB

2. 35GHz 柱面矩形微带贴片单元的分析与设计

微带天线阵可采用矩形、环形和三角形等贴片形状, 他们各自有其特点, 但在设计制作大阵时, 考虑到制版和微带线馈电及匹配等因素, 一般皆采用矩形贴片阵元^[1]。

根据微带天线理论基础, 计算得到天线的近似设计参数, 使用微带中心馈电方法对天线尺寸进行了初步设计。但是, 由于传输线法和腔模理论本身的局限性, 上述方法误差很大, 适用范围有较大的局限性。因此, 这里使用专业的电磁仿真软件 CST 对微带贴片天线进行了仿真和优化。

首先给出设计的基本参数^[2]:

$$\begin{aligned} \text{贴片的介质相对介电常数} & \quad \varepsilon_r = 2.2 \\ \text{贴片的介质相对磁导率} & \quad \mu_r = 1 \end{aligned}$$

$$\text{天线工作频率} \quad f_0 = 3.5 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$\text{自由空间波长} \quad \lambda_0 = \frac{c}{f_0} = 8.57 \text{ mm}$$

为了防止产生高次模引起场的畸变，宽度 W 的尺寸不得超过下式给出的值：

$$W \leq \frac{c}{2f_0} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{公式 1})$$

式中 c 为光速， f_0 谐振频率。由此可见 W 总是小于 $\lambda_0/2$ 的值。

于是

$$L = 0.5\lambda_g - 2\Delta L \quad (\text{公式 2})$$

ΔL 的值由下式给出：

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\varepsilon_e + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\varepsilon_e - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (\text{公式 3})$$

由此可见， L 不仅与 ε_r 、 W 有关，还与厚度和 h 有较大关系。

这里选取的柱面半径为 100mm，图 1 是 35GHz 柱面矩形微带贴片单元的 CST 仿真模型。

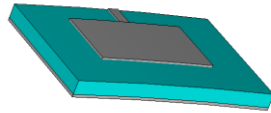


图 1 柱面矩形微带贴片单元的 CST 仿真模型

通过计算得到图 1 所示结构图的仿真结果，35GHz 时的远场方向图，如图 2 所示。

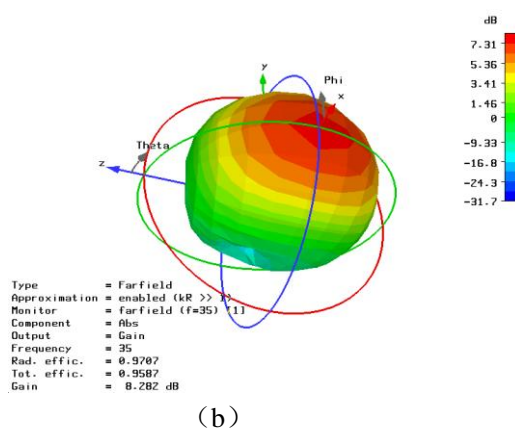


图 2 贴片柱面单元 35GHz 时的远场方向图

从图 2 中得到贴片单元天线的增益为 8.3dB，为后面阵列方阵提供基本仿真贴片单元参数。

3. 3 个单元仿真分析

本小节使用 CST 仿真软件，建模得到周向三个单元模型的结构图，如图 3 所示，通过仿真得到此模型下远场方向图和周向电场方向图，如图 4 和图 5 所示。

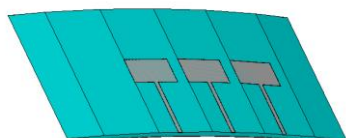


图 3 周向三个单元模型的结构图

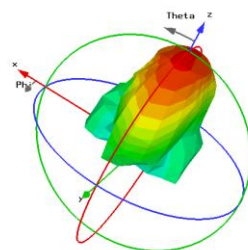


图 4 周向三个单元模型远场方向图

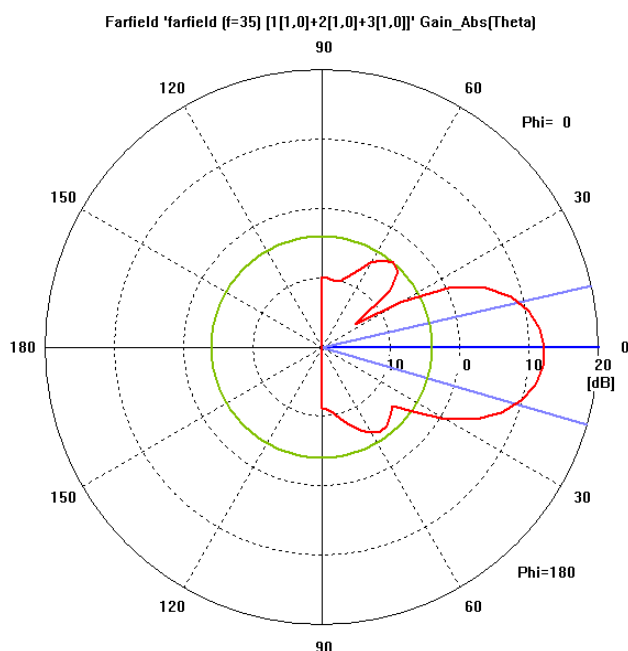


图 5 3 个单元周向电场方向图

可以看到，天线周向 3 个单元的增益为 12.2dB。由于建模过程复杂，仿真时间较长，用 CST 软件只对 3 个单元阵列进行研究，并利用此模型简单分析了相控阵单元周向互耦情况。

4. 互耦的仿真研究

在相控阵列天线中，对互耦情况较严重的中间部分的辐射单元进行分析，通过图 3 的仿真模型，得到周向排列三个辐射单元在阵列环境中互耦情况的评估。

如图 6，为三个阵元周向排列的天线隔离情况。这三个阵元中，三个单元的谐振频率和阻波带宽有一定变化，可见表 1。在频点 $f=35\text{GHz}$ 上，反映单元之间隔离情况的 S_{12} 、 S_{21} 、 S_{13} 、 S_{31} 、 S_{23} 和 S_{32} 较小。最小的 $S_{12} = S_{21} = -17.9\text{dB}$ ，最大的 $S_{32} = -41.53\text{dB}$ 。

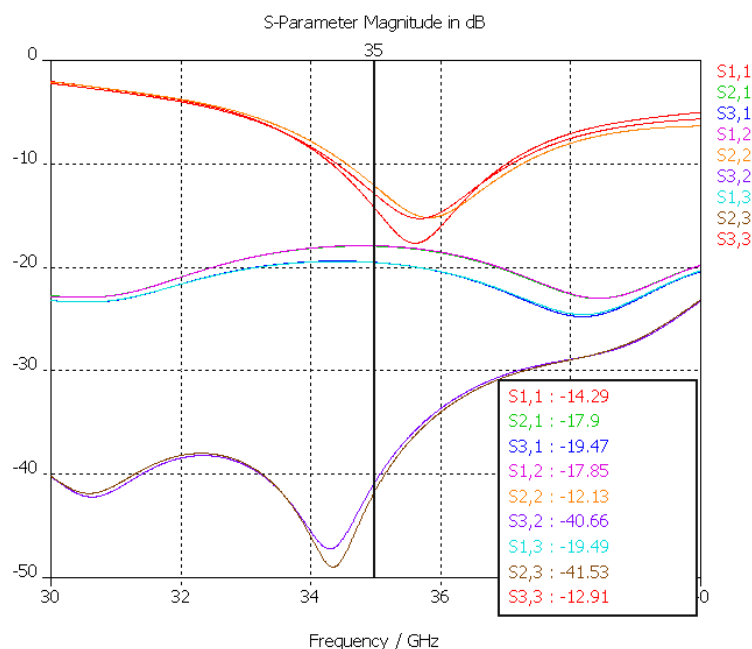


图 6 3 单元隔离情况

表 1 3 单元耦合情况

情况描述	单元理想空间下	单元 1 阵列环境下	单元 2 阵列环境下	单元 3 阵列环境下
VSWR<2 频段 (GHz)	33.763-36.416	34.588-37.24	34.337-36.989	34.444-37.061
增益 (dB)	8.282	7.754	7.308	7.676

由于是对部分阵元的互耦情况分析，这时单元进行移相扫描后再分析已没有太大意义，所以只对三个单元在波束俯仰角为 0° 时进行分析。

如表 1 所示，在阵列环境下单元互耦表现在谐振频率有变动，阻波带宽变窄，但不是很大。由于互耦的作用，单元的增益都有所降低。

本文认为，要尽可能降低互耦^[3]，最佳的办法就是阵列单元的不等间距排列和不等幅馈电，采用 Taylor、Chebyshev 等阵列，可以降低副瓣同时改善互耦情况。此外对于等幅馈电情况，在各阵列单元地板切割细缝，或设窄细“隔流栅栏”，能明显降低单元互耦。

4. 结束语：

[3]

通过对相控阵天线辐射单元的研究和微带天线设计理论,使用电磁场仿真软件 CST 分别对柱面矩形微带贴片单元进行了仿真和优化设计,得到毫米波段最佳的阵元尺寸。接着使用 CST 软件分析了周向三个单元柱面微带贴片子阵的阵列特性,设计指标满足要求。最后,讨论了周向三个单元之间的互耦问题。

5 [参 考 文 献]

- [1] 方大纲,陶玉明,龙毅,刘迈,李艳茹,姚平. 8mm 边馈式微带天线阵研究. 电波科学学报. 1995, 10 (1): 47~52
- [2] Robert E.Munson. Coformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. IEEE Transactions on antennas and propagation. 1974, (1): 74~78
- [3] 柴舜连,姚得森,毛钧杰. 计算共形阵单元互耦的新方法. 国防科技大学学报. 1997, 19 (6): 92~968